

(1)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-141010

(P2002-141010A)

(43) 公開日 平成14年5月17日 (2002.5.17)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 1 J 37/06		H 0 1 J 37/06	Z 2 F 0 6 7
G 2 1 K 5/04		G 2 1 K 5/04	W 2 G 0 0 1
			C 4 M 1 0 6
			S 5 C 0 3 0
H 0 1 J 37/147		H 0 1 J 37/147	B 5 C 0 3 3
審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 6 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2000-336037 (P2000-336037)

(22) 出願日 平成12年11月2日 (2000.11.2)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(71) 出願人 000000239

株式会社荏原製作所

東京都大田区羽田旭町11番1号

(72) 発明者 浜島 宗樹

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74) 代理人 100089705

弁理士 社本 一夫 (外5名)

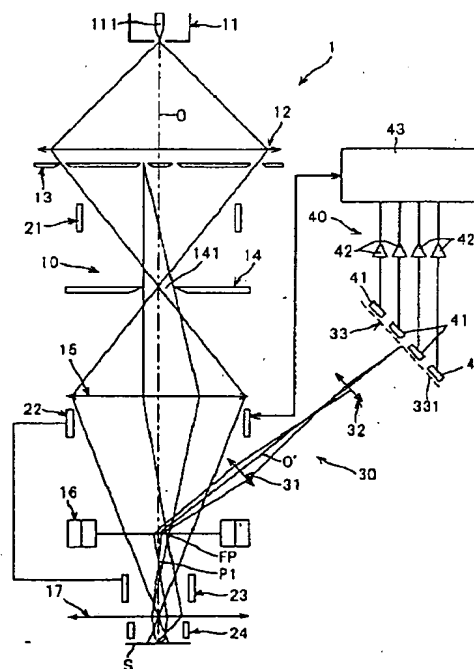
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子線装置及びその電子線装置を用いたデバイスの製造方法

(57) 【要約】

【発明の課題】 マルチビームのビーム電流を増加しても空間電荷効果によるビームボケをあまり大きくさせない電子線装置提供することである。

【解決手段】 本発明の電子線装置1は、熱電界放出電子銃11から放出される電子線のうち光軸方向以外の方向に放出される非光軸方向電子線を利用し、前記非光軸方向電子線を複数の電子ビームにして試料面で結像させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 電子銃から放出される電子線のうち光軸方向以外方向に放出される非光軸方向電子線を利用し、前記非光軸方向電子線を複数の電子ビームにして試料面に結像させることを特徴とした電子線装置。

【請求項2】 請求項1に記載の電子線装置において、前記電子銃のカソードを構成する材料の結晶の、光軸に直角な面方位が<100>であり、前記非光軸方向電子線が前記材料の結晶の<310>方位面から放出される電子線装置。

【請求項3】 熱電界放出型電子銃と、前記電子銃から放出された電子線のうち光軸に対して角度を成して放出された電子線を光軸上でクロスオーバ像を結ばせるコンデンサレンズ、及び前記電子銃と前記クロスオーバ像の位置との間に設けられていて複数の開口を有する開口部材を有して、前記開口を通過した電子ビームを縮小して試料面上に投影、走査する光学系と、を備えたことを特徴とする電子線装置。

【請求項4】 請求項3に記載の電子線装置において、前記複数の電子ビームを試料の表面上で一方向に走査しながら前記試料を支持するステージを前記走査の方向と直角な方向に連続移動させながら試料の評価を行う電子線装置。

【請求項5】 請求項1ないし4のいずれかに記載の電子線装置を用いてプロセス途中のウェハーを評価することを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は電子線装置及びその電子線装置を用いたデバイスの製造方法に関し、詳しくは、最小線幅が0.1μm以下のパターンを有するウェハーのような試料の欠陥検査、線幅測定、合わせ精度測定、高時間分解能電位コントラスト測定等を行う電子線装置並びにその電子線装置を用いたデバイスの製造方法に関する。

【0002】

【従来技術】電子線を利用した欠陥検査装置において複数の電子ビーム（マルチビーム）を使用するとビームの数だけスループットが向上することは、例えば特開平10-134757号に示されるように、既に知られている。一方、ビーム電流を増加すると空間電荷効果によってビームがぼけることも知られている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】欠陥検査装置等のスループットを向上させるため、単一の電子銃を使用してマルチビームを作ることが望まれるが、従来技術では、電子ビームの数を増加しビーム電流を増加すると、空間電荷効果によりボケが大きくなるため、ビーム電流を増加させることができない問題があった。

【0004】本発明が解決しようとする一つの課題は、

ビームボケを大きくすることなく単一の電子銃でマルチビームを形成できる電子線装置を提供することである。本発明が解決しようとする他の課題は、マルチビームのビーム電流を増加しても空間電荷効果によるビームボケをあまり大きくさせない電子線装置を提供することである。本発明が解決しようとする別の課題は、熱電界放出電子銃のカソードから放出される非光軸方向の電子線を複数の電子ビームにして試料面に投影、走査することによってビーム電流を増加してもビームボケを少なくできる電子線装置を提供することである。本発明が解決しようとする更に別の課題は、上記のような電子線装置を用いてプロセス途中の試料を評価するデバイスの製造方法を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】本願の一つの発明は、熱電界放出電子銃から放出される電子線のうち光軸方向以外方向に放出される非光軸方向電子線を利用し、前記非光軸方向電子線を複数の電子ビームにして試料面に結像させるように構成されている。上記の電子線装置において、前記電子銃のカソードを構成する材料の結晶の、光軸に直角な面方位が<100>であり、前記非光軸方向電子線が前記材料の結晶の<310>方位面から放出されてもよい。

【0006】本願の他の発明は、熱電界放出型電子銃と、前記電子銃から放出された電子線のうち光軸に対して角度を成して放出された電子線を光軸上でクロスオーバ像を結ばせるコンデンサレンズ、及び前記電子銃と前記クロスオーバ像の位置との間に設けられていて複数の開口を有する開口部材を有して、前記開口を通過した電子ビームを縮小して試料面上に投影、走査する光学系と、を備えて構成されている。上記電子線装置において、前記複数の電子ビームを試料の表面上で一方向に走査しながら前記試料を支持するステージを前記走査の方向と直角な方向に連続移動させながら試料の評価を行うように構成されてもよい。本願の更に別の発明によるデバイスの製造方法は、前記電子線装置を用いてプロセス途中のウェハーを評価するように構成されている。

【0007】

【実施の形態】以下図面を参照して本発明による電子線装置の一実施例を説明する。図1において、本実施形態による電子線装置1が模式的に示されている。この実施例の電子線装置1は、一次光学系10と、二次光学系30と、検出系40とを備えている。一次光学系10は、電子線を試料Sの表面に照射する光学系で、電子線を放出する電子銃11と、電子銃11から放出された電子線を集束するコンデンサレンズすなわち静電レンズ12と、複数の小孔が形成された開口部材すなわち開口板13と、絞り開口141を画成する絞り部材14と、縮小用の静電レンズ15と、E×B型分離器16と、対物レンズとしての静電レンズ17とを備え、それらは、図1

に示されるように電子銃11を最上部にして順に、しかも電子銃から放出される電子線の光軸Oが試料Sの表面(試料面)に鉛直になるように配置されている。

【0008】一次光学系10には、この実施形態では、更に、開口板13と絞り部材14との間に他のブランキング偏向器21が配置され、静電レンズ15の試料S側に近接して第1の走査用偏向器22が配置され、E×B分離器16と対物レンズとしての静電レンズ17との間には第2の走査用偏向器23が配置され、静電レンズ17と試料Sとの間には軸対称電極24が配置されてい

る。

【0009】電子銃11は、体心立法の単結晶を有するタングステンを<100>方位面(通常のワイヤは<110>方位)が先端となるように針状に尖らせてつくったカソード111を備えている。カソード111をこのようにしてつくると、図2のカソード先端部の拡大図からも明かなように、カソード111の先端の光軸Oに直角となるファセットすなわち小平面112がタングステンの結晶の<100>方位面となり、光軸から外れた同一円周上の四つの位置に結晶の<310>方位面113が存在することになる。カソード111は加熱のためのタングステンフィラメント(図示せず)にスポット溶接されている。この針状に形成されたカソードの適当な場所にはZrを溶接し、加熱によってZrをカソードの先端まで拡散させ、酸素雰囲気中で熱処理することによりZrOをタングステンの結晶の<100>方位のファセットすなわち小平面112及び<310>方位面113にZrOの膜を形成させてある。電子銃の上記のように構成したカソードから放出される電子線は、光軸方向の<100>方位面から放出される電子線と、光軸から外れた<310>方位面から放出される4方向の非光軸方向電子線とがある。この<100>方位面から放出される電子線は、<310>方位面から放出される非光軸方向電子線に比べて強度が大幅に小さい。

【0010】開口板13は、図3に示されるような位置関係に配置された、4個の小孔131を有する。この小孔131は非光軸方向電子線の強度が最も強くなる場所に位置決めされている。具体的には、小孔131は光軸Oから等間隔の位置すなわち光軸Oを中心とする同一円周上に、円周方向に等間隔で配置されているが、X軸及びY軸に関してθだけ回転方向(図2で反時計回り方向)にずれている。このθは、ビーム間の間隔のX軸に沿った方向の成分(X成分)が全て等しくなるように決定されている。すなわち、

$$2 \sin \theta = \cos \theta - \sin \theta$$

を満たすようにしてある。小孔は、例えば、 $2 \mu\text{m}$ φの円形に形成されている。なお、一次光学系の絞り部材14、静電レンズ15、E×B型分離器16、対物レンズとしての静電レンズ17、ブランキング開口部材21、第1の走査用偏向器22、第2の走査用偏向器23並び

に軸対称電極24の構造及び機能は従来のもと同じで良いので、それらの詳細な説明は省略する。

【0011】二次光学系30は一次光学系10のE×B型分離器16近くの焦点面F P近傍で光軸Oに対して角で傾斜している光軸O'に沿って配置された二つの拡大レンズすなわち静電レンズ31及び32と、開口板33とを備えている。開口板33には開口板13に形成された小孔131の個数(4個)及び配列に対応した個数及び配列の開口331が形成されている。開口板13及び33は従来のもと同じ材料を用いて作られても良いので詳細な説明は省略する。また静電レンズ31及び32の構造及び機能も従来のもと同じでよいので、それらの詳細な説明は省略する。検出系40は、開口板33の各開口33に合わせて配置された検出器41と、検出器41に増幅器42を介して接続された画像形成回路43とを備えている。画像形成回路43は第1の走査用偏向器22に電氣的に接続され、その走査用偏向器は第2の走査用偏向器23に電氣的に接続されている。各検出器41はシンチレータ及びフォト・マルチプライヤ・チューブを有する公知の構造のものでよい。なお、図1において開口板13の小孔131及び開口板33の開口331は、それぞれ一直線状に配置されているように示されているが、それらは単に説明のために一直線状に並べただけであり、実際には図2に示されるような配置になっている。

【0012】次に、上記構成を有する本実施形態による電子線装置1の動作に付いて説明する。単一のカソードを有する電子銃11から放出された電子線は、前述のように、光軸方向(この例では光軸O上)に<100>面から放出される電子線と、<310>面から放出される4方向の非光軸方向電子線とから成る。これらの電子線はコンデンサレンズすなわち静電レンズ12により絞り部材14の位置でクロスオーバを結像するように集束されるが、光軸方向の電子線は開口板13により遮断され、非光軸方向の電子線のみが開口板13の対応する小孔131を通過し、4本の電子ビームとなって試料面に向かって進む。4本の電子ビームは、縮小用静電レンズ15及び対物レンズ17により縮小され、試料Sの表面すなわち試料面に結像される。これと同時に、クロスオーバ像は静電レンズ15により拡大されて対物レンズ17の主面に結像される。対物レンズ17の主面での電子ビームの強度分布は、図4に示されるように、カソードにおける光源位置が4本の非光軸方向電子ビームに対しては光軸上にないため、その拡大像も光軸上では強度は弱く、最も強度の大きい領域R1(図4で実線の円で図示)は開口板13の4個の小孔131の位置に対応した四つの離れた位置に形成される。強度の少し弱い領域R2(図4で破線の円で図示)はR1の周囲の一定範囲に形成されるが、この領域は隣接する他の領域R2と部分的に重なり合い、図4に示されるようなプロファイルに

なると予測される。このように、電子ビームの強度が最大になる領域が4本のビームについて互いに重なり合わないで、空間電荷効果によるビームボケが大きくなることはなく、4本の電子ビームの合計のビーム電流を大きくできる。

【0013】上記のようにして形成された4本の電子ビームは、偏向器22及び23によって試料面上でX方向（図1及び図3において左右方向）に走査され、試料から放出された二次電子は対物レンズ17で拡大されて位置P1に結像される。この結像された二次電子はE×B分離器16により二次光学系30の光軸O'に偏向されて拡大レンズすなわち静電レンズ31及び32により拡大されて開口板33の対応する開口331に結像される。この結像された二次電子の像は各開口331に対応して配置された検出器41により検出され、その検出信号を電気信号として出力する。検出器41からの出力信号はそれぞれの増幅器42により増幅されて画像形成回路43に入力される。この画像形成回路により二次電子による試料面の画像が偏向器22及び23の動作と同期させて形成される。この画像に基づいて欠陥検査、試料面に形成されたパターンの線幅測定、合わせ精度の測定、高時間分解能電位コントラストの測定等を行う。

【0014】上記実施形態では熱電界放出電子銃のカソード材料としてタングステンにZrOを被覆したものを使用した例を示したが、カソード材料として炭化タンタルを用いれば、結晶の<310>方位面での電子線の放出が前記材料を使用した場合より更に大きくなることが実験的に証明されている。この炭化タンタルのカソードは、<110>方位の単結晶のタンタルを細く尖らせ、炭化させることによってつくられている。このカソードは融点がタングステンよりも高いので、タングステンにZrOを被覆したカソードの場合より更に悪い真空圧（ 1×10^{-7} torrないし 2×10^{-6} torr）でも安定して動作する。カソード材料としては、上記の他、遷移金属の炭化物、窒化物又はホウ化物でもよい。

【0015】本発明の電子線装置を用いて4本の電子ビームをX方向に走査させながら試料面に照射させ、試料を支持する試料台をX方向と直角のY方向に移動させながら試料面の検査等を行えば、単一の電子ビームを用いた場合より4倍のスループットが得られることになる。したがって、本発明の電子線装置を用いれば高いスループットで試料面の欠陥検査、試料面に形成されたパターン等の線幅検査、或いは試料の合わせ精度測定等を行うことができる。

【0016】次に図5及び図6を参照して本発明による半導体デバイスの製造方法の実施例を説明する。図5は、本発明による半導体デバイスの製造方法の一実施例を示すフローチャートである。この実施例の製造工程は以下の主工程を含んでいる。

(1) ウエハを製造するウエハ製造工程（又はウエハを

準備するウエハ準備工程)

(2) 露光に使用するマスクを製造するマスク製造工程（又はマスクを準備するマスク準備工程）

(3) ウエハに必要な加工処理を行うウエハプロセスング工程

(4) ウエハ上に形成されたチップを1個ずつ切り出し、動作可能にならしめるチップ組立工程

(5) できたチップを検査するチップ検査工程

なお、上記のそれぞれの主工程は更に幾つかのサブ工程からなっている。

【0017】これらの主工程の中で、半導体デバイスの性能に決定的な影響を及ぼすのが(3)のウエハプロセスング工程である。この工程では、設計された回路パターンをウエハ上に順次積層し、メモリやMPUとして動作するチップを多数形成する。このウエハプロセスング工程は以下の各工程を含んでいる。

(1) 絶縁層となる誘電体薄膜や配線部、或いは電極部を形成する金属薄膜等を形成する薄膜形成工程（CVDやスパッタリング等を用いる）

(2) この薄膜層やウエハ基板を酸化する酸化工程

(3) 薄膜層やウエハ基板等を選択的に加工するためにマスク（レチクル）を用いてレジストパターンを形成するリソグラフィ工程

(4) レジストパターンに従って薄膜層や基板を加工するエッチング工程（例えばドライエッチング技術を用いる）

(5) イオン・不純物注入拡散工程

(6) レジスト剥離工程

(7) 更に、加工されたウエハを検査する工程

なお、ウエハプロセスング工程は必要な層数だけ繰り返し行い、設計通り動作する半導体デバイスを製造する。

【0018】図6は、図5のウエハプロセスング工程の中核をなすリソグラフィ工程を示すフローチャートである。このリソグラフィ工程は以下の各工程を含む。

(1) 前段の工程で回路パターンが形成されたウエハ上にレジストをコートするレジスト塗布工程

(2) レジストを露光する露光工程

(3) 露光されたレジストを現像してレジストのパターンを得る現像工程

(4) 現像されたレジストパターンを安定化するためのアニール工程

上記の半導体デバイス製造工程、ウエハプロセスング工程、リソグラフィ工程については、周知のものでありこれ以上の説明を要しないであろう。上記(7)の検査工程に本発明に係る電子線装置を利用した欠陥検査方法、欠陥検査装置を用いると、微細なパターンを有する半導体デバイスでも、スループット良く検査できるの

で、全数検査が可能となり、製品の歩留まりの向上、欠

陥製品の出荷防止が可能と成る。また、電子線装置を利用した線幅測定方法及び装置によれば、高い精度でスルーブット良く試料面に形成されたパターンの線幅を測定できる。更に、上記電子線装置を利用した合わせ精度測定方法及び装置或いは高時間分解能電位コントラスト測定方法及び装置を使用して合わせ精度の測定或いは電位コントラストの測定も可能である。更にまた、上記電子線装置を利用した欠陥レビュー方法及び装置によれば、高い精度で欠陥を監視できる。

【0019】

【発明の効果】本発明によれば、次のような効果を奏することが可能である。

(イ) 光軸方向への放出される電子線よりも高輝度の非光軸方向の電子線を利用するので、同一のビーム径でより大きいビーム電流が得られる。

(ロ) 最終の対物レンズ主面におけるクロスオーバーが4本の電子ビームにより光軸から外れた位置にできるので、空間電荷効果が低減され大きいビーム電流が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による電子線装置の一実施例の模式図である。

【図2】図1の電子線装置に使用されている電子銃のカ*

* ソードの先端の拡大図である。

【図3】図1に示される開口板に形成される小孔の配置を示す平面図である。

【図4】対物レンズ主面における開口板の小孔のクロスオーバーを示す拡大図である。

【図5】本発明による半導体デバイスの製造方法の一実施例を示すフローチャートである。

【図6】図5のウエハプロセス工程の中核をなすリソグラフィ工程を示すフローチャートである。

10 【符号の説明】

1 電子線装置

10 一次光学系

12、15 静電レンズ

14 絞り部材

向器

17 静電レンズ

ング偏向器

22、23 静電レンズ

極

20 30 二次光学

40 検出系

42 増幅器

回路

11 電子銃

13 開口板

16 E×B偏

21 ブランキ

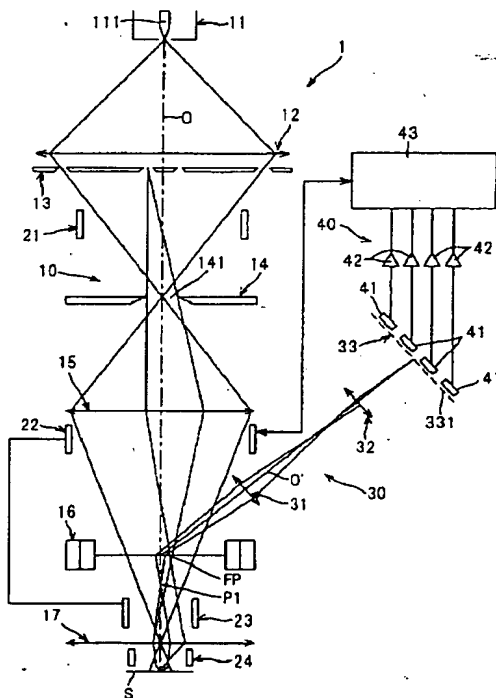
24 軸対象電

23 開口板

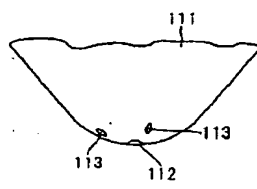
41 検出器

43 信号処理

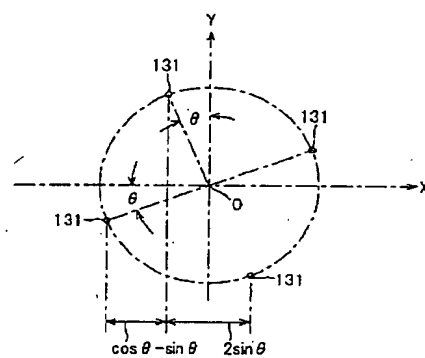
【図1】



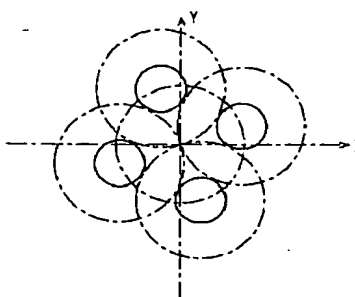
【図2】



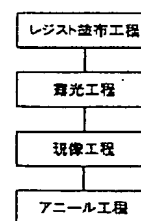
【図3】



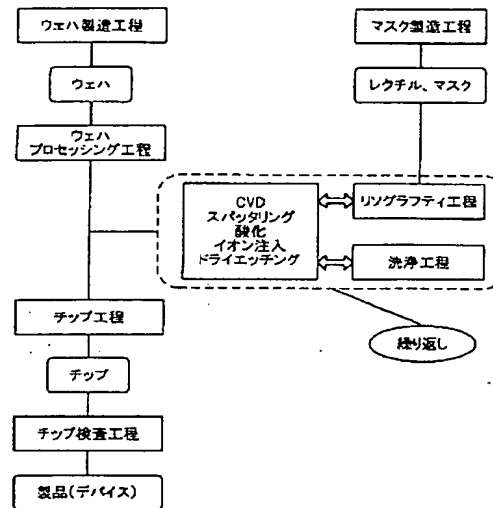
【図4】



【図6】



【図5】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 J 37/28		H 0 1 J 37/28	A
H 0 1 L 21/66		H 0 1 L 21/66	J
// G 0 1 B 15/00		G 0 1 B 15/00	B
G 0 1 N 23/225		G 0 1 N 23/225	

(72)発明者 中筋 護
東京都大田区羽田旭町11番1号 荏原マイ
スター株式会社内

(72)発明者 加藤 隆男
東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社
荏原製作所内

(72)発明者 野路 伸治
東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社
荏原製作所内

(72)発明者 佐竹 徹
東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社
荏原製作所内

F ターム(参考) 2F067 AA26 AA54 AA62 BB01 BB04
CC17 HH06 HH13 JJ05 KK04
LL02 LL16 MM07 QQ02
2G001 AA03 BA07 CA03 DA02 DA06
DA08 EA04 GA01 GA06 GA13
HA13 JA02 JA03 LA11 MA05
4M106 AA01 BA02 CA08 CA39 CA41
CA45 CA46 DB05 DB30
5C030 BB02
5C033 FF03 TT01